

상관관계 해석을 통한 수치표고모델 평가 방법

이 승 우[†] · 오 해 석^{††}

요 약

영상 매칭 방법을 이용하여 항공 사진 및 위성 영상으로부터 획득한 지상 위치 및 고도 정보인 수치표고모델(DEM)은 여러 환경의 영향으로 인하여 오차를 포함하고 있다. 본 연구에서는, 전문가가 이러한 오차를 수정 편집할 수 있도록 하기 위하여 기준 수치표고모델과 대상 수치표고모델간의 유사도 값을 사용하여 수치표고모델을 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 수치표고모델의 전 지역에 대해 수평 및 수직 오차를 구하기 위해서는 기준 수치표고모델의 격자와 대상 수치표고 모델 격자간의 유사도 값을 사용하여 각 기준 격자에 대한 정합 대상 격자를 구한다. 각 기준 격자에 대한 정합 대상 격자가 구해지면, 수평 및 수직 오차를 계산하여 전문가가 수정 편집할 영역을 판단할 수 있도록 한다. 즉, 유사도 값이 낮고, 고도의 차가 높은 경우, 그 격자는 후보 변화 또는 오류 격자로 판단된다. 이러한 후보 격자들이 영역을 이룰 경우, 수정 편집 대상인 변화 또는 오류 지역으로 판단한다. 이러한 방법을 사용함으로써, 모든 점에 대한 평가가 가능할 뿐 아니라, 수직 오차외에도 수평 오차를 구할 수 있으므로, 보다 효과적으로 변화 또는 오류 지역을 찾을 수 있었다.

Evaluation of Digital Elevation Models by Interpreting Correlations

Seung-woo Lee[†] · Hae-Seok Oh^{††}

ABSTRACT

The ground positions and elevations information called DEMs(Digital Elevation Models) which are extracted from the stereo aerial photographs and/or satellite images using image matching method have the natural errors caused by variant environments. This study suggests the method to evaluate DEMs using correlation values between the reference and the target DEMs. This would be strongly helpful for experts to correct these errors. To evaluate the whole area of DEMs in the horizontal and vertical errors, the target cell is matched for each reference cell using the correlation values of these two cells. When the target cell is matched for each reference cell, horizontal and vertical error was calculated so as to help experts to recognize a certain area of DEMs which should be corrected and edited. If the correlation value is low and the difference in height is high, the target cell will be candidate as changed or corrupted cell. When the area is clustered with those candidate cells, that area will be regarded as changed or corrupted area to be corrected and edited. Using this method, the evaluation for all DEM cells is practicable, the horizontal errors as well as vertical errors is calculable and the changed or corrupted area can be detected more efficiently.

키워드 : 영상정합(Image Matching), 수치표고모델(DEM), 입체영상(Stereo Images), 상관계수(Correlation Coefficient), 변화탐지(Change Detection)

1. 서 론

수치표고모델(DEMs)은 지상의 특정 위치에 대한 고도값을 의미한다. 이 수치표고 모델은 지도를 제작하는 기본 자료로서, 지도상에서 등고선을 표현할 때 사용할 뿐 아니라, 3차원 표현, 지형분석 등의 여러 응용분야에서 폭넓게 사용되는 자료이다[1-3]. 수치표고모델은 일정한 간격을 갖는 격자에 대한 평균 고도로 표현하는 것이 일반적이며, 이때 격자의 크기에 따라 수치표고모델의 정밀도 허용범위가 결정된다. 이러한 수치표고모델을 제작하는 일반적인 방법은 다음과 같다[1, 2, 4, 5].

- 해석도화기를 이용한 숙련자의 수동 추출(등고선 추출)
- 수치해석도화기(DPW)의 영상정합기법을 이용한 자동 수치표고모델 추출

전자의 경우, 모든 격자에 대한 고도값을 추출하는 것이 현실적으로 불가능하므로, 등고선을 추출한 결과를 바탕으로 보간하여 재격자화하는 것이 일반적이다. 후자의 방법은, 영상의 각 픽셀에 대해 영상 정합을 통해 동일점을 구하고 이에 대한 시차(視差)를 구하여 격자에 대한 높이를 자동적으로 계산한다[1, 2, 4, 5].

이러한 방법에 의해 추출된 수치표고모델은 어느 정도 오차를 갖고 있다. 전자의 경우, 재격자화 과정에서 얻어진 수치표고모델은 추출된 값이 아닌 보간된 값이므로 실제

[†] 정 회 원 : 중앙항공(주) 중앙지리정보 연구소 선임연구원

^{††} 종신회원 : 경원대학교 IT 부총장

논문접수 : 2003년 11월 3일, 심사완료 : 2004년 3월 19일

높이값과의 오차를 갖게 된다. 후자의 경우 모든 격자에 대한 높이값이 계산에 의해 구해지지만, 이러한 경우에도 정합의 정확도와 보조자료의 정확도, 고유 오차등에 의해 오차를 갖게 된다.

또한, 이러한 방법으로 획득된 초기 수치표고모델은 오차를 수정하는 편집작업을 수반하게 되며, 편집은 대개 수작업을 진행되기 때문에 편집결과를 검증할 필요가 있다. 이렇게 구해진 수치표고모델을 평가하는 방법은 각 격자별로 GPS등을 이용하여 정확한 높이값을 구하는 것이나 이는 현실적으로 불가능하다. 따라서 대개 고정밀로 획득된 기준 수치표고모델과 상대적으로 비교하거나, 지상기준점(Ground Control Point : GCP) 또는 삼각점(Survey Control Point : SCP)의 높이값을 직접 비교하거나[6, 7] 수치표고모델을 사용하여 제작한 정사영상(ortho-image)에서 추출하여 샘플 검사하는 방법을 널리 사용한다[8]. 전자의 방법은 생성된 수치표고모델이 갖는 고유 오차를 포함하여 검사하기 때문에 대개 위치 오차와 높이 오차가 혼합되어 존재하게 된다. 즉, 수평 편위(bias)와 오차(error)를 식별하지 않고 수직 오차에 대한 정확도를 판단하게 된다. 따라서 상대 정확도를 정확하게 산정하지 못하는 단점이 있다. 후자의 경우는 기지점을 사용하여 검증하기 때문에, 전체적인 상대 정확도를 산정하지 못하는 단점이 있으며, 검사점 및 정사영상의 정확도에 영향을 받는 경향이 있다.

따라서, 본 연구에서는 비교적 정밀도가 높은 기준수치표고를 대상으로 편위(bias)를 고려하면서 각 격자별로 유사도를 측정함으로써 전체적인 상대 정확도를 추출하기 위한 방법을 제안한다. 또한 오차의 원인을 분석하여 수정/편집의 근거를 제시할 수 있도록 한다.

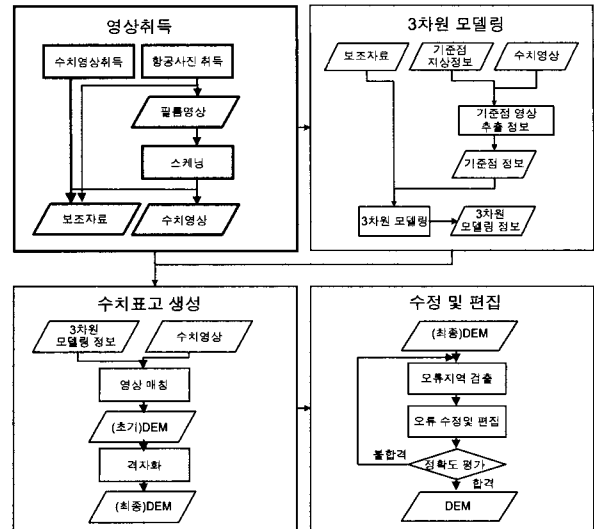
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수치표고모델의 제작과정을 간략히 설명하고, 수치표고모델이 갖는 오차의 종류와 그 원인을 정의한다. 3장에서는 기존의 수치표고모델 평가 방법을 간략하게 설명한다. 4장에서는 유사도 검증 방법을 제시하고, 5장에서는 제시된 유사도 검증 방법을 이용한 실험 결과를 제시한다. 실험결과에 대한 결론은 6장에서 제시한다.

2. 수치표고모델 제작과정

수치표고모델은 일반적으로 (그림 1)에서 보는 바와 같은 절차를 통해 제작된다.

영상 취득 과정에서는 항공 영상 또는 위성 영상을 획득할 수 있다. 이때, 영상 획득시의 카메라의 위치와 자세, 고도값에 대한 정보는 수치표고모델의 전체적인 정확도에 영향을 미친다[9]. 근래에는 GPS나 별 추적기(startrack)를 이용하여 이러한 정보의 정확도를 높임으로써, 수치표고모델

등의 정확도를 높이고자 하는 시도가 이루어지고 있다.



(그림 1) 수치표고모델 제작 절차 개념도

3차원 모델링은 위성영상으로부터 촬영된 2차원의 영상에서 각각의 영상점에 상응하는 지상의 3차원 위치를 획득하기 위해 촬영당시의 기하적인 관계를 재현하는 것이다. 이를 위해서는 촬영 당시의 센서 노출 중심 및 자세와 같은 보조자료와 지상의 기지점 정보를 이용하여 기하관계를 수치적으로 재현한다[10]. 3차원 모델링을 수행하기 위해 사용하는 관측 방정식은 다음과 같은 공선 조건식을 사용한다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -f \end{pmatrix} = S \cdot R \cdot \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서, x, y 는 상좌표, $-f$ 는 센서의 초점 거리이며, X, Y, Z 은 대상체의 지상좌표를 X_0, Y_0, Z_0 는 센서의 위치좌표를 의미하고, S 는 축척계수이다. R 은 회전행렬로서,

$$R = \begin{pmatrix} \cos \phi \cos x & \sin \omega \sin \phi \cos x + \cos \omega \sin x & \sin \omega \sin x - \cos \omega \sin \phi \cos x \\ -\cos \phi \sin x & \cos \omega \cos x - \sin \omega \sin \phi \sin x & \cos \omega \sin \phi \sin x + \sin \omega \cos x \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{pmatrix} \quad (2)$$

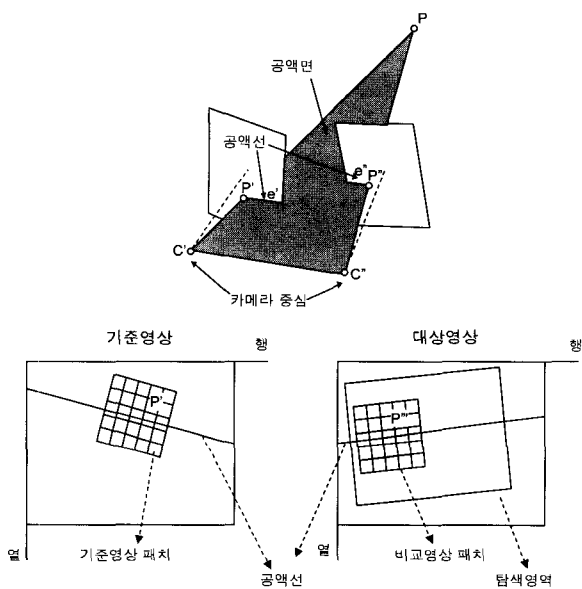
와 같으며, 이때 ω, ϕ, x 는 촬영당시 센서의 자세를 나타낸다.

영상정합 과정은 영상상에서의 동일점을 자동적으로 추출하여 시차를 이용해 격자의 고도값을 구하는 과정이다. 영상 정합의 방법은 상관계수, 최소사승법에 의한 영역기반 정합과 특징 추출에 의한 정합 기법이 사용되고 있다[1, 10-14]. 일반적으로 수치해석도화기에서는 상관계수에 의한 영역기반 정합을 사용한다. (그림 2)에서 보는 바와 같이 두 영상의 일정한 정합대상 창(patch window)크기에 대하여 식 (3)과 같이 상관계수를 구하여 가장 높은 유사도를

갖는 두점에 대한 시차를 계산하여 해당위치의 표고를 구한다.

$$r = \frac{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \mu_f)(g(x, y) - \mu_g)}{\sqrt{\sum_x \sum_y (f(x, y) - \mu_f)^2 \sum_x \sum_y (g(x, y) - \mu_g)^2}} \quad (3)$$

여기서, r 은 상관계수값이며, $f(x, y)$ 와 $g(x, y)$ 는 각각 기준영상 정합대상 창 및 비교영상 정합대상 창 내에서 x 열, y 행의 픽셀 밝기값을 의미한다. μ_f 와 μ_g 는 각각 기준영상 정합대상 창 내 픽셀 밝기값의 평균과 비교영상 정합대상 창 내 픽셀 밝기값의 평균을 나타낸다.



(그림 2) 상관계수를 이용한 영상정합의 개념도

이때, 정합되는 대상점의 탐색 범위를 최소화하고, 정확도를 높이기 위하여 공역선(epipolar line)상에서 최대시차 범위내에서 탐색하며, 계층 영상(pyramid image)을 사용한 반복적 탐색 및 정합을 수행하는 것이 일반적이다[1, 10, 14]. 이러한 방법은 모두 탐색 범위를 줄임으로써 정합 시간을 줄이는 방법이다. 즉, (그림 2)에서 보는 바와 같이, 공선/공면 조건에 따라 정합 대상 점은 공역선상에 존재하므로, 해당 지역의 최소/최대 높이값을 예측하여 이에 해당하는 시차 범위에 한해 공역선에서 정합 대상점을 탐색한다.

또한 상관계수의 방법을 적용하기 위해서는 회전과 축적이 동일해야 하므로, 3차원 모델링 과정에서 카메라의 ω, ϕ, x 과 고도값 정보를 이용하여 영상을 회전하고 확대/축소한다.

영상 정합에 의해 얻어진 수치표고모델은 일부 오류지역을 포함하고 있다. 이러한 오류지역을 식별하여 수정하는 작업은 편집과정을 거쳐 이루어지게 된다. 수치환경하에서

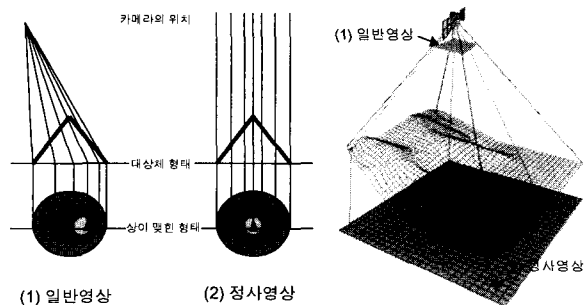
자동으로 생성된 수치표고모델에는 일반적으로 과대오차(blunder), 정오차(systematic error), 우연오차(random error) 등 세가지 종류의 오차가 포함되어 있다[8]. 과대오차는 대부분 제작자의 주의력 부족으로 자료의 값을 잘못 읽거나, 잘 읽어도 잘못 기록하므로서 유발되는 경우가 많다. 과대오차는 발견 및 수정이 쉬운 반면, 그 오차 값이 크게 나타나 수치표고모델 전체의 정확도를 떨어뜨리는 중요한 요인이 된다. 정오차는 수치표고모델 제작에 사용한 장비, 절차 등에 따라 일정하게 나타나는 오차로서, 모형화가 가능하고 어느 정도는 예측도 가능한 오차를 말한다. 우연오차는 과대오차와 정오차가 완전히 제거되었다 하더라도 최종 결과에 포함될 수 있는 오차를 의미한다. 일반적으로 우연오차의 원인은 식별하기 곤란하며, 반복된 관측을 통해 통계적으로 표현할 수 있을 뿐이다. 이러한 오차들은 다양한 기술을 이용하여 어느 정도 그 양을 감소시킬 수 있지만, 모든 오차들을 완전히 제거할 수는 없다.

이러한 오차는 제작과정에서 누적되기 때문에 제작된 수치표고모델의 오차가 정확히 어떤 원인에 의해 발생되었는지는 알 수 없다. 따라서 제작된 수치표고 모델에 대한 정확도는 상대적인 비교에 의해 평가되고 있다.

3. 기존의 수치표고모델 정확도 평가 방법

기존의 수치표고모델 정확도 평가 방법은 크게 전수 검사와 샘플 검사로 구분할 수 있고, 샘플 검사는 다시 현장 조사와 비교 조사로 구분할 수 있다.

현장 조사는 사진으로 판독이 가능한 특징점에 대하여 현지에서 실질 측량을 수행하는 방법으로, 대개 도로 교차점이나 교각 중심, 산정상등과 같이 오랜 기간동안 변하지 않는 대상물에 대하여 중심점이나 모서리점, 꼭지점을 측량함으로써 정확한 값을 구한다. 현재는 GPS 장비를 이용하여 보다 손쉽게 특징점의 좌표를 획득할 수 있다. 하지만 이러한 방법은 현장 조사 비용과 장비 사용 비용, 인건비 등이 막대하므로 특징점에 대한 정보 획득이 매우 제한적이다.



(그림 3) 정사영상의 개념도

비교 조사는 직접 현장에서 조사하지 않고, 간접적인 방법으로 조사하는 것으로, 가장 대표적인 방법이 정사영상을 이용한 특징점 검사 방법이다[8]. (그림 3)에서 보는 바와 같이, 정사영상은 모든 픽셀을 마치 수직선 상에서 획득한 것처럼 보정한 영상으로, 모델링 정보와 수치표고모델 정보를 이용하여 제작된다[8, 10]. 정사영상은 해당 지역에 대한 지형 지물을 육안으로 판단할 수 있고, 그 좌표 및 고도값을 실시간에 자동적으로 구할 수 있으므로, 전문 판독사가 기지점에 대해 사진상에서 특징점을 판별하여 해당 좌표와 고도값을 구하여 비교한다. 이때 기지점은 국가기관이나 공인 기관에서 인정한 지상기준점(GCP)이나 삼각점(SCP)을 사용하는 것이 일반적이다. 정사영상으로부터 기지의 특징점에 대해 수평 위치와 수직 위치 정보를 획득할 경우, 누적된 오차로 인하여 현지 측량보다 다소 낮은 정확도가 구해질 수 있으나 비교적 허용할 만한 정확도 내에서 특징점들의 좌표를 획득할 수 있다. 이러한 방법을 사용하는 경우, 기지점의 수량만큼 정확도를 판별할 수 있으므로 현장 조사에 의한 방법보다 많은 특징점에 대해 평가할 수 있으나, 여전히 제한된 수의 샘플만 검사할 수 있다.

이에 반해 전수 검사는 모든 점에 대하여 수치표고모델을 평가할 수 있다. 가장 정확한 전수 검사 방법은 각 격자별로 GPS등을 이용하여 정확한 높이값을 구하는 것이나 이는 비용이나 접근의 제한성등의 이유로 현실적으로 불가능하다. 현재 가장 일반적으로 사용되는 방법인 단순 수치표고모델 차에 의한 검사 방법은 동일 수평 위치에 대하여 기준 수치표고모델과 대상 수치표고모델의 차를 구하는 방법으로, 전체적인 변화나 오차의 윤곽 정보는 획득할 수 있으나 별도의 판별 작업을 필요로 할 뿐 아니라, 수평 오차는 무시한 채 수직 오차를 구하기 때문에 수평 오차와 수직 오차가 혼재하므로 그 오차의 신뢰도가 상대적으로 낮다. 즉, 수평 편위(bias)와 오차(error)를 식별하지 않고 수직 오차에 대한 정확도를 판단하게 된다.

4. 유사도를 이용한 정확도 검증 방법

수치표고모델이 지닌 고유오차를 보정하고, 보다 신뢰성 있는 정확도를 평가하기 위해서는 지상의 동일 위치를 찾아내어 점대점 비교를 수행하는 방법이 필요하다. 즉, 기준 수치표고모델의 각 격자에 해당하는 대상 수치표고모델의 격자를 찾아내어 이에 대한 높이차를 구함으로써 정확도를 검증할 수 있다.

기준 수치표고모델의 지상좌표와 대상 수치표고모델의 지상좌표와의 관계는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$H_o(X, Y) = H_t(X + e_x, Y + e_y) + e_z \quad (4)$$

이때, $H_o(X, Y)$ 는 기준 수치표고모델이고, $H_t(X, Y)$ 는 대상 수치표고모델이며, (X, Y) 는 지상좌표이다. (e_x, e_y) 는 수평오차를 의미하고, e_z 는 수직오차를 의미한다. 이때 수평오차와 수직오차는 비선형이다. 따라서 기준 및 대상 수치표고 모델 $H_o(X, Y)$, $H_t(X, Y)$ 에 대해 직접 수직오차를 비교하는 것은 수평오차 (e_x, e_y) 를 고려하지 못한 정확도 평가가 된다. 이를 해결하기 위해서는 수평오차 (e_x, e_y) 의 범위내에서 통계 분포값을 분석하여 가장 유사도가 높은 수치표고모델과 비교하여야 한다. 이러한 통계적 분포를 분석하는 대표적인 방법은 상관계수(correlation coefficient)와 최소자승법(Least Square Matching)을 통하여 구할 수 있다. 최소자승법은 대상영역의 위치와 형태를 기준영역과의 고도차가 최소가 될 때까지 변화시키는 방법으로, 정밀한 정합을 수행하기 위해 사용되나 연산 비용이 높고, 반복 연산을 통한 수렴으로 계산하므로 연산 시간이 길다. 또한 초기 조사치가 틀린 경우 잘못된 결과를 도출할 수 있다[15]. 따라서 본 연구에서는 식 (3)에서 제시한 상관계수는 식 (5)와 같이 수정하여 수치표고모델에 적용한다.

$$\rho = \frac{\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M (H_o(x, y) - \overline{H}_o) \cdot (H_t(x, y) - \overline{H}_t)}{\left[\sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M \{H_o(x, y) - \overline{H}_o\}^2 \cdot \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M \{H_t(x, y) - \overline{H}_t\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

여기서, ρ 는 수치표고자료에 대한 상관계수값이며, $H_o(x, y)$ 와 $H_t(x, y)$ 는 각각 기준 수치표고모델 정합대상 창의 (x, y) 에서 수치표고모델의 고도값과 대상 수치표고모델 정합대상 창의 (x, y) 에서 수치표고모델의 고도값을 의미한다, \overline{H}_o 는 기준수치표고모델 정합대상 창 내 격자 고도값의 평균을 \overline{H}_t 는 대상수치표고모델 정합대상 창 내 격자 고도값의 평균을 나타낸다.

이때, 수치표고모델은 일정한 격자 간격으로 지리부호화(geocoded)된 정보이므로, 영상 정합과는 달리, 회전이나 축적에 대한 변환은 하지 않아도 된다고 가정한다.

ρ 는 수평오차 (e_x, e_y) 의 범위내에서 계산하여 ρ 값이 가장 높은 $H_t(X, Y)$ 를 $H_o(X, Y)$ 와 비교하여 수직오차 e_z 를 구한다. 이때, ρ 는 정규화된 경우, $-1 \leq \rho \leq 1$ 의 범위값을 갖는다. 이때 1은 동일함을 의미하며, -1값은 반전을 의미한다. 따라서, ρ 가 임계치 이하인 경우 $H_o(X, Y)$ 와 $H_t(X, Y)$ 가 유사하다고 판정지을 수 없다. 또한 수치표고모델의 정합대상 창 크기는 유사도에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 탐색영역에 대하여 적절한 ρ 값이 존재하는 경우, 동일 격자이라고 판단하고 동일 격자에 대한 고도값 차를 구한다. 즉 다음과 같은 조건이 만족되면 정확도 검증 대상 격

자로 판단한다.

조건 1. 탐색 영역에서 얻어진 ρ 값들 중에서 상관계수의 임계값 이상인 격자가 존재한다. 즉, ρ 는 $-1 \leq t \leq \rho \leq 1$ 이며 이때 t 는 임계값이다.

조건 2. 임계값 이상인 격자가 존재할 경우, 이 격자의 높이값을 기준 격자와 비교하여 차를 구한다. 이때 차가 허용 오차(ϵ)보다 클 경우 오류지역 또는 변화지역으로 판단한다.

조건 3. 임계값 이상인 격자가 존재하지 않는 경우, 오류 지역 또는 변화지역으로 판단한다.

5. 실험 결과

본 연구에서 실험 대상으로 사용한 기준 수치표고모델 및 대상 수치표고모델은 (그림 4), (그림 5)와 같다. 이 수치표고모델은 <표 1>에서 제시한 조건에서 촬영된 영상을 기반으로 (그림 1)과 같은 제작과정을 거쳐 생성된 결과이다.

두 대상 수치표고모델에 대하여 상관계수에 대한 임계값 (t)는 0.5로 하였으며, 허용오차(ϵ)는 수치표고모델의 차에 대한 3σ 로 정의하였다. 대개, 문자 인식이나 마크 인식 분

야에서의 유사도 비교를 위한 상관계수 임계값은 0.6~0.7 이상을 설정하는 것이 일반적이나, 영상 정합에 의해 추출한 수치표고모델의 특성상 평지 지역에 미세 오차 효과가 나타날 수 있으므로, 임계값을 다소 완화하였다. 정합대상 창의 크기를 3×3 에서 5×5 까지 변화시켜 실험한 결과는 (그림 6), (그림 7)과 같다.

<표 1> 기준 DEM과 대상 DEM의 특성

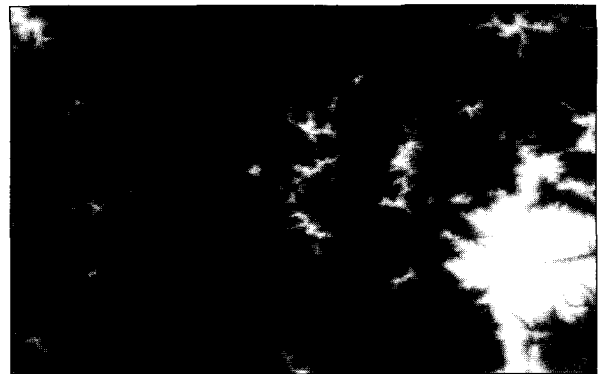
	지역	촬영시기	영상종류	영상해상력
기준 DEM	중부지역	1996년	항공사진	0.5m
대상 DEM	상동	1996년	위성사진	10m

(그림 6)과 (그림 7)(a)에서 흰색은 ρ 의 값이 임계값 t 보다 낮은 지역을 의미하며, 회색지역은 표준편차가 0인 평평한 지역을 의미한다. 대부분의 흰색 지역은 하천 또는 평지 지역에서 나타나고 있다. (b)는 정합된 수치표고간의 고도 차를 나타낸 것이다. (그림 6)과 (그림 7)에서 제시한 결과는 다음과 같이 분석할 수 있다. 즉,

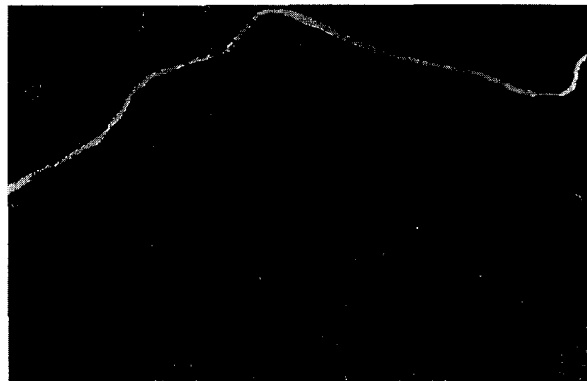
- ① 유사도가 높고 고도 차가 작은 지역 : 수치표고모델에



(그림 4) 기준 수치표고 모델



(그림 5) 대상 수치표고 모델

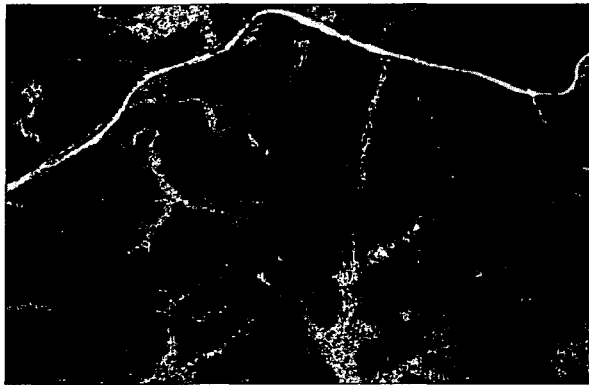


(a) 유사도 비교 결과 영상($t : 0.5$)

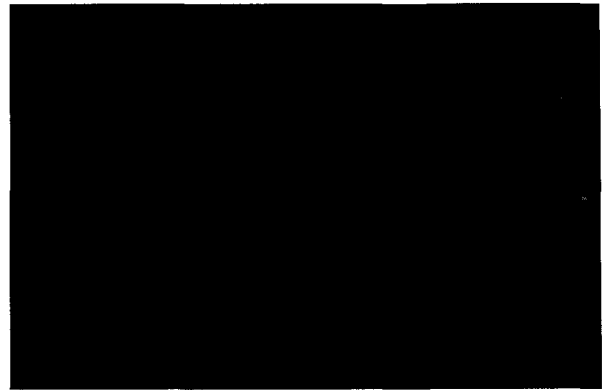


(b) 고도 차 영상

(그림 6) 7×7 탐색영역에 대한 3×3 정합대상 창의 수치표고모델간 유사도 비교 결과

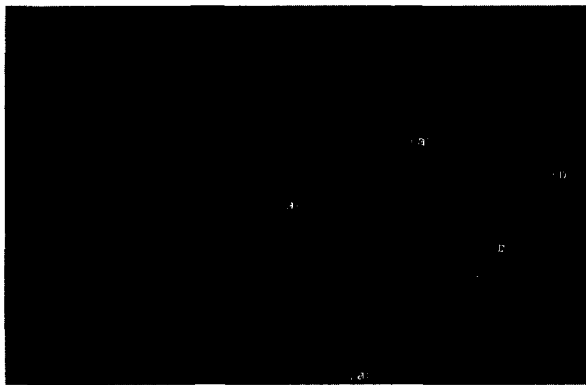


(a) 유사도 비교 결과 영상 (t : 0.5)



(b) 고도 차 영상

(그림 7) 9×9 탐색영역에 대한 5×5 정합대상 창의 수치표고모델간 유사도 비교 결과



(그림 8) (그림 5) 결과에 대해, 유사도가 낮고 고도 차가 큰 지역



(그림 9) 기준 DEM과 대상 DEM의 단순 고도 비교 차영상

오차가 거의 없으며, 변화가 적은 지역

- ② 유사도가 낮고 고도 차이가 작은 지역 : 정확하게 동일한 수치표고 모델은 아니지만, 해석에 무리가 없는 지역. 즉, 해당지역 수치표고 모델의 유형은 다소 틀리지만, 전반적인 고도 수준이 비슷한 지역으로 평지지역에 나타날 가능성이 높다.
- ③ 유사도가 높고, 고도 차이가 큰 지역 : 지형의 유형은 유사하나 표고 오류가 있는 지역. 이런 지역은 시차 오차이거나 두 수치표고간의 오차 누적일 가능성이 높다. 전자인 경우, 그 원인은 대개 영상 촬영각이 좋지 못하거나, 촬영시 그림자가 진 지역, 경사가 가파른 지형일 수 있다.
- ④ 유사도가 낮고, 고도 차이가 큰 지역 : 지형 유형이 다르고 높이차가 있다는 것으로 해석할 수 있으며, 영상에서 구름 또는 눈으로 가려진 지역이거나 변화지역 또는 오류/편집누락 지역으로 판단할 수 있다.

이러한 근거로 판단할 때, 특히 ④에 해당하는 지역은 오류지역 또는 변화지역으로 가정할 수 있다. (그림 8)에서는 이러한 후보지역을 나타내고 있다. 실제로 수치표고모델 자

료를 정밀 분석한 결과, (a) 지역은 자료조합과정에서의 오류로, (b) 지역은 편집누락지역으로 판별되었다.

반면, 기존의 비교방법에 따라 수평오차를 고려하지 않고 높이값을 비교할 경우 (그림 9)와 같은 결과를 보이고 있다. 이 결과에서는 앞서 제시한 비교분석이나 원인분석이 불가능하여 숙련된 전문가의 개입이 필요하였다. 또한 판단 근거의 부족으로 정확한 오류지역 추출이 어려웠다.

<표 2>에서는 이러한 실험 결과들에 대한 수평오차와 수직오차를 나타냈으며, 기존 평가 방법의 결과와 비교하였다.

<표 2>에서 보는 바와 같이, 본 논문에서 제안한 방법인 유사도 비교를 통한 평가 방법을 사용하였을 경우, 단순 고도 비교 평가 방법과 비교하였을 때, 수평/수직 오차를 모두 평가할 수 있는 장점이 있으며, 정사영상을 이용한 정확도 검증과 비교하였을 때, 전수 검사가 가능하다는 장점이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 다른 방법과 달리, 수평오차가 고려된 수직오차를 구할 수 있으며 전수 검사 결과를 제시할 수 있다는 것을 의미한다. 뿐만 아니라, 정사영상을 이용한 정확도 검증과 비교하였을 때 정확도 검증 결과도 신뢰할 수 있는 수준임을 확인할 수 있었다.

<표 2> 정확도 검증 방법 별 오차 결과 (단위 : m)

검증방법	오차	수평오차			수직오차		비 고
		RMSE x	RMSE y	CEP(90%)	RMSE z	LEP(90%)	
유사도 비교를 통한 평가	3×3	18.996	17.1359	45.5322	13.5155	22.5118	수평/수직 전수 평가
	5×5	27.9363	23.517	70.8615	16.775	27.7517	
단순 비교	고도 평가	평가불가	평가불가	평가불가	10.3517	17.3574	수평오차 평가 불가
정사영상을 이용한 정확도 검증		4.621	3.274	8.87	7.635	13.06	샘플 평가

다만, <표 2>에서 정사영상을 이용한 정확도 검증의 수평오차가 제안된 검증 방법에 비해 상대적으로 낮은 이유는, 유사도 비교를 통한 평가는 격자 단위(본 연구에서는 10m)의 수평오차를 계산한 반면, 정사영상 및 수치표고 제작과정에서 사용한 지상기준점을 검사점으로 사용하였으며, 검사점을 관측하는 과정에서 서브픽셀 단위의 좌표계산이 이루어졌기 때문이다. 수직오차에서 보이는 차이는, 정사영상을 이용한 정확도 검증은 상대적으로 표고 오차가 적은 평지지역에 검사점이 분포되어 있다는 점을 고려할 때, 상호보완적인 관계를 보이고 있다. 실제로, 정사영상을 이용한 정확도 검증에서 사용했던 검사점에 대해, 본 연구에서 제안한 방법으로 RMSE z와 LEP(90%)를 계산한 결과, 각각 8.129, 13.794을 나타내어 거의 동일한 오차를 보였다. 따라서 <표 2>에서 보는 바와 같이 유사도 비교를 통한 평가 방법은, 기존의 다른 평가 방법과는 달리, 전체 수치표고 모델에 대하여 수평 및 수직 오차를 평가할 수 있으며, 그 결과 또한 신뢰할 수 있었다.

6. 결 론

위의 실험에서 살펴본 바와 같이, 본 논문에서 제시한 유사도 비교 방법을 통해 수치표고모델 정확도를 검증할 경우, 정합 오류 지역 뿐 아니라 편집 오류 지역과 변화후보 지역을 보다 정확하게 추출할 수 있었다. 유사도 비교를 이용하여 수치표고모델을 평가할 경우, 전역지역에 대해 수평 및 수직 오차를 모두 평가할 수 있었으며, 기존의 평가방법에서 제시하지 못한 수치표고모델 평가 결과에 대한 해석이 가능해졌다. 특히 편위등에 의해 검출되지 않거나 검출하기 어려웠던 오류를 효과적으로 해소할 수 있고, 유사도 비교결과와 정합된 수치표고 비교 결과를 이용하여 오류의 의미를 추론/해석할 수 있었다. 실제로 현장에서 이러한 방법을 이용하여 오류지역을 검출하였을 때, 검출정도가 향상되었을 뿐 아니라, 검출을 위한 작업 시간을 단축하는 효과를 얻을 수 있었다. 이로 인하여 사전에 오류를 검출하지 못해 재제작하는 경우가 급격히 줄어 생산 비용의 안정성

을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 이러한 방법과 정사영상을 이용한 기준점 표고 샘플 검증 방법을 접목하여 상대적으로 보다 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Scheck, T. and Toth C., "Conceptual Issues of Softcopy Photogrammetric Workstations," PE&RS, Vol.58, No.1, pp.101-106, Jan., 1992.

[2] J. Hohle, "Experiences with the Production Digital Orthophotos," PE&RS, Vol.62, No.10, pp.1189-1194, Oct., 1996.

[3] 조봉환, 이용웅, 신대식, "SPOT 3중 입체 위성영상을 이용한 수치표고모형의 정확도 개선", 한국지형공간정보학회 논문집, 제3권, 제1호, pp.55-66, 1995.

[4] Eggers, O., S. Ellegaard, L. Hoelledig, and P Norvin, "From Contourlines to a Digital Height Model," pp.113, final thesis at Analborg University, 1989.

[5] Hood, j., L. Ladner, and R. Champion, "Image Processing Techniques for Digital Orthophoto Production", PE&RS, Vol.55, No.9, pp.1323-1329, Sep., 1989.

[6] Maune, F. D., "Introduction to digital elevation models (DEM)," Digital Photogrammetry, Manual of Photogrammetry Addendum, ASPRS, pp.131-134, 1996.

[7] Polidori, L., Chorowicz, J., and Guillande, R., "Description of terrain as a fractal surface, and application to digital elevation model quality assessment," PE&RS, Vol.57, No. 10, pp.1329-1332, 1991.

[8] 이용웅, "SPOT 정사영상의 반복정합을 이용한 수치표고도모형의 보정", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, pp.74-87, 2000.

[9] A. Kruphik, "Accuracy Assessment of Automatically Derived Digital Elevation Models from SPOT Image," PE&RS Vol.66, No.8, pp.1017-1023, Aug., 2000.

[10] 유복모, Schenk, T., "현대 디지털 사진 측량학", 문운당, pp.173-398, 2001.

[11] 지정규, 이광형, 김용근, 오해석, "객체 추적을 위한 적응적 배경영상 생성 방법", 정보처리학회논문지B, Vol.10-B, No.3, pp.329-338, June, 2003.

[12] 최내원, 오해석, "실시간 칼라영상에서 객체추출 및 추적", 정보처리학회논문지B, Vol.10-B 01, pp.81-86, Fer., 2003.

[13] 김봉기, 오해석, "특징기반 영상 데이터베이스 검색 기법", 정보처리논문지, Vol.5 No.11, pp.2776-2785, Nov., 1998.

[14] Lemmens, M. J., "A survey on stereo matching techniques," IAPRS, Commission V, Vol.27, pp.11-23, 1988.

[15] 박정환, "대상공간 영상정합에 의한 상호표정의 자동화", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, pp.22, 1998.



이 승 우

e-mail : ordean@krpost.net

1994년 숭실대학교 전자계산학과(학사)
1996년 숭실대학교 전자계산학과(공학석사)
1999년 숭실대학교 전자계산학과(박사수료)
1998년~현재 중앙항공(주) 중앙지리정보
연구소 선임연구원

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, GIS



오 해 석

e-mail : oh@kyungwon.ac.kr

1975년 서울대학교 응용수학과(이학사)
1981년 서울대학교 계산통계학과(이학석사)
1989년 서울대학교 계산통계학과(이학박사)
1982년~2003년 숭실대학교 컴퓨터학과
교수

2003년~현재 경원대학교 IT 부총장

관심분야 : Multimedia, Database, MIS